

DESTILADOR SOLAR CON ACUMULACIÓN DE ENERGÍA¹

A. Fasulo^{1,2}, L. Odicino¹, J. Adaro², J. Marchessi² y E. Ducculi²

1. Laboratorio de Energía Solar, Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera, 5700 – San Luis
Tel. 02652-423789 – int. 103 - e-mail: afasulo@unsl.edu.ar; odicino@unsl.edu.ar

2. Grupo de Energía Solar, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto, 5800 Río Cuarto
Tel. 0358 – 4676488; e-mail: aadaro@ing.unrc.edu.ar; jmarchessi@ing.unrc.edu.ar; educculi@ing.unrc.edu.ar.

RESUMEN: Este documento presenta el diseño, la construcción y evaluación experimental de un destilador solar con acumulación de energía. Se obtiene mediante una ampliación de la batea, de manera tal que pueda contener y conservar agua caliente. La batea está cubierta de aislantes térmicos adecuados para maximizar su eficiencia como acumulador. Se describen en detalle sus características constructivas y materiales empleados. Los resultados muestran una producción levemente superior a la de los destiladores livianos comunes. Las ventajas del dispositivo surgen a partir de la posibilidad que ofrece de incorporar energía desde el exterior tanto de origen solar como convencional, que no la tienen los destiladores solares existentes. Los resultados muestran que este dispositivo permite multiplicar por un factor 10 la producción de agua destilada. Poniendo así de manifiesto una capacidad de condensación de la cubierta vidriada muy superior a la conocida desde los destiladores de simple batea.

Palabras clave: Destilación solar y *Convencional*, *Acumulación* y eficiencia, Capacidad del condensador.

INTRODUCCION

La escasez de agua potable es un conocido problema a nivel mundial, que se intensificará en el futuro. La solución es potabilizar parte de la abundante agua salobre que posee el planeta. En la Argentina existen extensas regiones que ven limitado su desarrollo por la falta de agua, muchas de estas, como es la región de influencia del Río Desaguadero que abarca parte de tres provincias del centro oeste del País, poseen aguas salobres. Por otra parte, la industria y laboratorios, como la textil requieren agua destilada para operar sus maquinarias.

Muchos de estos laboratorios obtienen el agua destilada de dispositivos compactos. Que consisten en una cámara con agua puesta en ebullición mediante un resistor eléctrico y un condensador con una serpentina por la cual circula agua para su refrigeración, esta va directamente al sistema de drenaje. Así cada litro de agua destilada consume de 20 a 25 litros de agua de la red. Como el agua en estos dispositivos está en ebullición, el vapor producido arrastra algo de las sales y residuos. El resultado es un producto con una conductancia del orden de los 4 a 8 microsiemens (μS), dependiendo de la frecuencia con que se efectúa la limpieza de la cámara. Varios de estos laboratorios, los que trabajan con drogas de alta pureza, efectúan un segundo destilado, duplicando el gasto en agua potable. Estos dispositivos consumen demasiada agua en el proceso de condensación, para las regiones de escasos recursos, emplear estos destiladores constituye un uso no racional del mismo. Los dispositivos solares solo consumen el agua que destilan y su conductancia normalmente esta por debajo de 1 μS .

Los destiladores solares actualmente disponibles, consistentes en una batea aislada térmicamente y una cubierta vidriada que cumple la función de condensador. Si bien no requieren agua para condensar el vapor que producen, este resulta escaso, por que trabajan a bajas temperaturas. Operando en óptimas condiciones, requieren: a) que el espesor de la capa de agua contenida en la batea sea pequeña, para que ésta alcance la mayor temperatura posible durante las horas de sol. b) una cubierta vidriada muy eficiente para condensar el vapor que se adhiere en su interior. La bibliografía presenta numerosos trabajos estableciendo diseños, dimensiones y formas que permiten a estas cubiertas optimizar el proceso, (De Paul et al., 1997, 1999, 2000). Estos destiladores producen en verano de 4 a 6 litros y en el periodo de menor radiación solar esta cae a menos de un litro, ambos por día, por metro cuadrado de destilador y en promedios mensuales, para la región centro oeste del País. En consecuencia cualquier emprendimiento comunitario, aunque sea pequeño, requiere instalaciones con superficies muy extensas, esto las hace muy costosas tanto en su construcción como en su mantenimiento.

Los destiladores con acumulación de energías solar están constituidos por una batea que se prolonga por su base en un tanque. Este tanque puede convertirse en un colector solar acumulador (Esteban et al., 2004) posibilitando el ingreso de energía solar desde la parte inferior de la batea. Buscando determinar las perdidas térmicas de este dispositivo incorporamos energía convencional en la masa de agua contenida en el tanque, encontramos que la superficie condensadora de estos dispositivos posee una capacidad muy superior a la conocida a través de la producción de los destiladores de simple batea.

¹ Trabajo parcialmente financiado por el FONCyT - PICT 2003 - 15077

Esta es mas de 10 veces (es decir que con un m² de destilador podemos condensar mas de 50 litros de agua por día) (Fasulo et al., 2006) (Esteban et al., 2007). Esto nos indica que podríamos reemplazar la mayor parte de la superficie de destiladores por colectores solares acumuladores, de bajo costo y que requieren escaso mantenimiento. Por otra parte al concentrar, por este procedimiento la energía en una batea de pequeñas dimensiones, deja abierta la posibilidad de aplicar en ésta técnicas conocidas que permiten: a) bajar la temperatura de evaporación (por ejemplo bajando la presión) y b) recuperar parte de la energía liberada en la condensación para reincorporarla al proceso de evaporación (Destilador de múltiple efecto) (J. L. Fernández et al., 1990), (J. Franco y L. Saravia, 1992). Estas posibilidades dejan abierto el tema para una secuencia importante de mejoras que se traducirán en mayor producción y menor costo. Una de estas posibilidades las pondremos en práctica en este trabajo.

Existen numerosas experiencias en que se emplean destiladores solares con bateas profundas, en todos los casos estas están asociadas con la incorporación de colectores solares (Varopoulos et al., 2001), (Mathioulakis et al., 2003). En ninguno de estos casos se evalúa el comportamiento del destilador solo. En principio no parece tener sentido usar una batea con gran masa de agua en un destilador simple, no solo por que su costo es mayor, sino por que se espera que su eficiencia sea menor. En el estudio de los destiladores solares livianos se ha determinado que la eficiencia del destilador esta en directa relación con la cantidad de agua contenida en la batea (Follari et al., 2005) y esto es así por que mientras mas delgada es la capa de agua, esta eleva su temperatura en menor tiempo, mejorando así el aprovechamiento de la radiación solar.

En nuestro caso el destilador no es liviano, fue diseñado para la incorporación de otras fuentes de energía, en particular la energía eléctrica, y la forma de trabajo es distinta. Se lo construyó para determinar las pérdidas térmicas de otros destiladores (Esteban et al., 2004) y para complementar la producción de la pequeña planta de destilación solar de la Universidad (Fasulo et al., 2004). Se lo pone en funcionamiento solo durante los periodos en que la radiación solar no es suficiente para satisfacer la demanda mediante los destiladores comunes. En consecuencia es necesario determinar la conveniencia de mantenerlo en operaciones, con el consecuente gasto en mantenimiento que esto implica, durante los extensos periodos en que no es necesario el uso de esta energía convencional complementaria. Por otra parte es necesario precisar la capacidad de producción de este dispositivo, operando con energía convencional eléctrica para compararlo con los dispositivos compactos similares en uso actualmente en algunos laboratorios y precisar de esta forma las ventajas existentes.

DESTILADOR CON ACUMULADOR DE ENERGÍA

El dispositivo está constituido por una bandeja de un metro cuadrado de superficie: 1,2 m de largo por 0,83 m de ancho y 0,08 m de altura en sus laterales, a esta se le practica en su centro un corte circular de 0,8 m de diámetro. Por este corte se suelda el borde superior de un tanque cilíndrico, del diámetro señalado y 0,6 m de altura, ampliando así la capacidad de la batea de 0,06 m³ a 0,26 m³. Un corte circular de 0,84 m de diámetro con un plegamiento, efectuado en su borde deja un contorno de 0,02 m en ángulo recto con el disco, permite el cierre por la parte inferior del cilindro, mediante soldadura del borde del cilindro con el borde contorno del disco. Todas las partes se construyen con placas de acero inoxidable austenítico de 0,001 m de espesor y las soldaduras se efectúan bajo atmósfera inerte para evitar la oxidación del acero. Queda así constituida la batea con tanque acumulador.

Esta nueva batea posee cuatro orificios que permiten la comunicación de su interior con el exterior mediante tubos del mismo material adheridos mediante soldadura eléctrica: en el centro del cierre inferior un tubo permite la entrada y salida de agua cruda del destilador. Hacia ambos laterales dos tubos (6) posibilitan la conexión a otros sistemas de calentamiento del agua, tales como colectores planos, acumuladores u otros, esta opción será empleada en el futuro. Una cuarta perforación, que se encuentra a un cuarto de distancia del extremo superior del tanque permite, introducir un calefactor eléctrico blindado (R), para incorporar al destilador energía convencional. De esta forma el dispositivo podrá mantener la producción he incluso incrementarla a voluntad, durante los periodos de baja radiación solar.

La batea es rodeado por sus caras externas con material aislante (0,1 m de poliéstireno expandido), (3) en la figura 1. Este material es protegido del medio ambiente mediante una cobertura metálica que lo envuelve completamente (7) en la figura.

Una película de material plástico, con caladuras en la zona circular que corresponde al tanque, cubre la base de la batea y vuelca hacia los laterales (4). Tiene por función presentar una superficie negra absorbente de la radiación solar, facilitar la limpieza de la batea. Hemos experimentado con varios materiales plásticos, el que finalmente hemos adoptado, para este tipo de destilador, es el polietileno negro, conocido comercialmente como Agropol. Si bien no es opaco presenta la ventaja, que hace muy simple su limpieza, por que las sales no se le adhieren y además es el de menor costo. Es de hacer notar que los efectos reflectantes del polietileno son neutralizados luego de un par de días de funcionamiento del destilador por la capa de material que deja el agua al evaporarse. En la figura 1 podemos ver un corte transversal del nuevo destilador con acumulador. Donde (A) es el condensador desmontable, compuesto por: a) cubiertas de vidrio (a), marco de acero inoxidable (b) y placas de material aislante (c).

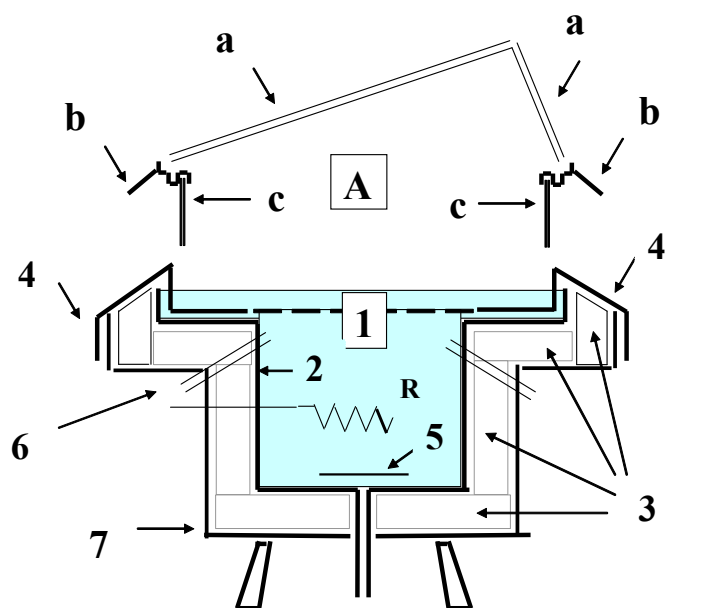


Figura 1 Corte transversal de un destilador solar acumulador, compuesto por: 1 batea con tanque acumulador aislado térmicamente, 2 batea y tanque de acero inoxidable, 3 material aislante, 4 cubierta de material plástico, 5 placa deflectora del fluido que ingresa al tanque, 6 conductos para entrada conexiones a colectores solares, 7 cubierta metálica externa protección.

El condensador, constituye un cuerpo separado, se construye a partir de un marco de acero inoxidable 304 de 0,8 mm. de espesor. Este contiene (siguiendo el corte transversal de la figura 1, desde el interior hacia fuera): un canal invertido, donde se alojará una pared de material aislante, el canal colector, un tramo horizontal de 1cm, tiene la función de asentar este dispositivo sobre el borde superior de la batea, una pestaña para el asiento de los vidrios de la cubierta, una extensión de 5 cm en pendiente respecto a la horizontal para permitir el escurrimiento del agua de lluvia. La pared aislante permitirá confinar la atmósfera interior del destilador y separar térmicamente el agua de la batea de la unidad condensadora. Se extiende a lo largo de todo el perímetro, formando un rectángulo de aproximadamente 1,99m por 0,99 m de forma tal que coincida con las dimensiones interiores de la batea. Esta pared se apoya sobre el fondo de la batea y con el agua contenida en ésta sellará la atmósfera interior. Está compuesta por una placa de vidrio de 4mm. de espesor, 6 cm. de altura por 2 m. de longitud (6 m en total, se extiende a lo largo de todo el perímetro del condensador) y una placa de policarbonato alveolar de 8 mm de espesor, 2 m. de longitud, 5 cm. de alto en uno de los extremos y 3 cm. en el otro. Quedando los alvéolos en posición vertical, se practica en estos un corte de 1 cm. de profundidad para alojar la placa de vidrio, ambas son ligadas mediante resinas apropiadas y el policarbonato con las mismas resinas es alojado en el interior del canal invertido del marco de acero inoxidable. La diferencia de 0.02 m entre los extremos del corte del policarbonato permite que la pared que sostiene el marco con el canal colector del destilado posea el desnivel suficiente para que este escurra hacia uno de los extremos. En la figura 2 podemos ver dos imágenes del dispositivo, tomadas en distintos ángulos, se aprecia las formas asimétricas de la cubierta vidriada y la cubierta metálica que contiene y protege los materiales aislantes que rodean el acumulador.

PRODUCCIÓN DEL DESTILADOR CON ACUMULADOR DE ENERGÍA

A los efectos de conocer las características del nuevo dispositivo se efectuó un seguimiento periódico de su producción. Para tal fin se colecta en bidones plásticos preparados adecuadamente para medir la cantidad de agua destilada acumulada la que es pesada en una balanza. Con el propósito de que la experiencia cubriera la mayor parte de las variadas características climáticas que se dan en la región, y fuese de esta forma representativa, se midió durante varios días consecutivo en cada una de las estaciones con marcadas diferencias climáticas. Se chequearon treinta días en el mes de junio con una radiación solar global horizontal media de $\langle H \rangle = 9,2 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$ y una temperatura media ambiente de $\langle T \rangle = 10,7^\circ \text{ C.}$, características del periodo invernal con días claros y seminublados. Pasando al extremo mas cálido con dieciséis días del mes de enero con una $\langle T \rangle$ de 27° C. y $\langle H \rangle$ de $26,5 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$. La producción paso entre ambos extremos de 1,2 a 4,2 litros por metro cuadrado por día.

A los efectos de disponer de una referencia con relación a dispositivos conocidos chequeamos simultáneamente la producción de tres destiladores livianos asimétricos de dos metros cuadrados de superficie cada uno, que se encuentran operando en la pequeña planta de destilación solar que posee el Laboratorio. En la figura 4 podemos ver los resultados de parte de este seguimiento, el correspondiente a 15 días del mes de enero de 2007. En la gráfica podemos ver la producción diaria de ambos dispositivos: El destilador con acumulador, DA y del destilador construido con materiales livianos, DL. También hemos incorporado en la misma gráfica la radiación solar diaria y la temperatura media diaria. A los efectos de poder incluir estos últimos datos en la misma gráfica los hemos dividido por el factor 10, como se indica en el eje secundario; Es decir donde se

ve en la escala $2,5 (H/10) \text{ MJ/m}^2 - \text{día}$ corresponde a $25 \text{ MJ/m}^2 - \text{día}$. De la misma forma donde se ve en la gráfica $2,6 (T/10)^\circ \text{C}$ corresponden a 26°C .



Figura 3 vistas de frontal y posterior lateral del Destilador solar con acumulador de energía. En ambos se puede apreciar la cubierta superior desmontable, la cubierta externa de la bandeja y del tanque acumulador.

También podemos ver: 1) que la producción del Destilador con acumulador, DA, para casi todos los días presenta valores superiores a los del destilador construido con materiales livianos, DL. 2) Que ambos dispositivos tienen una producción que esta en directa relación con la radiación solar diaria, que cuando esta cae, cae, la producción de ambos dispositivos declina. Así vemos que el día 24 con una reducción de aproximadamente el 50% de H la producción cae de valores comprendidos entre 4,5 y 4 litros-día a 1,8 y 1 litros-día, respectivamente para cada dispositivo.

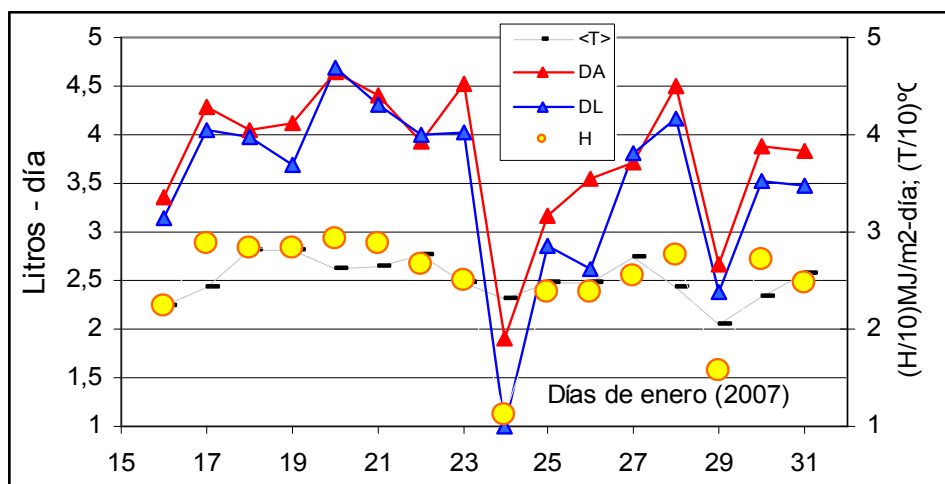


Figura 4 Representación de los datos de producción de agua destilada diaria de los destiladores con acumulador, DA y destilador liviano, DL en valores de litros-día, obtenidos en la secuencia de 15 días del mes de enero. En la misma se representan los datos de radiación solar global horizontal en valores de $(H/10) \text{ MJ/m}^2 - \text{día}$ y la temperatura media ambiente diaria en $(T/10)^\circ \text{C}$.

Una situación similar se observa para el día 29. Se observa también que cuando es mas pronunciada la reducción de la radiación solar, mayor es la diferencia en la producción entre ambos dispositivos. Esto lo debemos atribuir a la diferencia en

la inercia térmica existente entre ambos dispositivos. Podemos de aquí concluir que el DA presenta una producción levemente superior al DL y que el DA posee mayor inercia térmica que el DL.

De la misma forma se repite esta experiencia en tres periodos del año, que se caracterizan por presentar valores de radiación solar y temperaturas diferentes. En cada uno de los casos se repite una relación entre la producción de ambos destiladores similar a la observada en la representación gráfica de la figura 4; esto es, el destilador con acumulador supera levemente en la producción diaria al destilador construido con materiales livianos. En la tabla 1 se pueden ver estos resultados correspondiente a sesenta y nueve días repartidos entre los meses de enero, junio, agosto y noviembre, al pie de la tabla los valores medios de la producción diaria, la temperatura media diaria, $\langle T \rangle$ y la radiación solar global horizontal media diaria $\langle H \rangle$. Se incorpora el cálculo de la producción en litros diarios, resultando una diferencia media entre ambos dispositivos, para el periodo de sesenta y nueve días del año de 0,3 litros-día. Lo cual constituye una diferencia de 20.7 litros en el periodo medido y extrapolando para un año esta diferencia es de 1110 litros. En la tabla 1 se incorpora la eficiencia que presenta cada dispositivo. Se toma para ello el cociente entre la masa de destilado obtenida y la radiación solar horizontal por el calor específico de evaporación: 2.5 MJ/kg. (Howe, 1980). También se incorpora el GOR, definido como el cociente entre el cambio de entalpía del agua fría a vapor: 2,5 MJ/kg por la masa de agua destilada sobre la energía recibida por el destilador (Esteban C., 2006).

Tabla 1 Producción de los destiladores solares con acumulador y livianos respectivamente, en valores medios diarios de la secuencia de varios días seguidos tomados en cuatro periodos del año.

				Producción			
				Dest. Con acum.		Destil. Liviano	
Mes	Días	$\langle T \rangle$ ° C	$\langle H \rangle$ MJ/m ²	litros m ² día	Efic. GOR	litros m ² día	Efic. GOR
Junio	30	10,7	9,2	1,2	0,33	1,0	0,27
Agosto	17	15,4	13,6	1,8	0,37	1,6	0,30
Nov.	6	19,9	27,7	3,8	0,40	3,4	0,36
Enero	16	27,0	26,5	4,2	0,42	3,7	0,35
Media	69	18,2	19,3	2,7	0,38	2,4	0,32

De los datos presentados en la tabla 1, correspondientes a 69 días tomados bajo distintas condiciones climáticas, podemos concluir que el DA posee mayor producción que el DL.

PRODUCCIÓN NOCTURNA

Para concluir con las evaluaciones comparativas de la producción de ambos dispositivos se efectúa la toma de datos durante varios días seguidos, cada doce horas aproximadamente. De esta forma se fracciona el día en dos periodos: diurno y nocturno. En la tabla 2 se puede ver los resultados de una secuencia de siete días tomados en el mes de abril, en la cual se incluye además la velocidad media diaria del viento, en un intento para determinar su posible influencia en las fluctuaciones observadas.

En la primera y segunda columna se dan la fecha y la hora en que se efectúa la determinación de la masa de agua colectada. Se encuentra en la primera columna repetida la fecha, corresponde interpretar para el primer dato (horas de la mañana) la producción relacionada con la radiación solar del día anterior, en consecuencia la producción total diaria, columnas 7 y 10, se obtienen sumando la producción diurna y la nocturna producida en las primeras 10 horas del día siguiente. Esto es la producción del día 1 es 2,3 kg, suma de los datos obtenidos a las 20 hs del día 1 y el de las 10 hs del día 2.

En primer lugar podemos ver que se verifican la relación entre los valores de la producción y eficiencia (GOR) mostrados en la tabla 1. Esto es valores mayores para el DA con respecto al DL. Vemos además dos notables variaciones, con respecto a los valores del GOR, encontrados anteriormente, en los días 4 y 5, valores muy altos: 1,22 y 0,60 (destacados mediante recuadro en la tabla 2). Estos son consecuencia de la energía térmica acumulada en el tanque del destilador. Fenómeno que no se observa en el destilador construido con materiales livianos. Este mismo razonamiento explica la producción nocturna que presenta el destilador con acumulador. Resultando adicionalmente que el sistema DA es mas eficiente, pues permite captar mejor la radiación solar, parte de la cual es acumulada. Produce menos durante el día y como continúa durante la noche, periodo en el cual convierte en producción una parte de la energía acumulada. Otra parte la conserva, lo cual se pone de manifiesto cuando la radiación solar cae a valores bajos (días 4 y 5) el dispositivo continua produciendo. Las

determinaciones efectuadas nos indican que en el estudio de la producción de un destilador con acumulador y aislantes térmicos, es consecuencia de la radiación solar del día y de, por lo menos, los dos días anteriores.

Por otra parte para un destilador solar construido con materiales livianos su producción no depende de la radiación solar del día anterior. Esto es así por que este tipo de destilador es liviano, a diferencia de otros destiladores simple batea empleados en otras experiencias. La masa de este destilador liviano es prácticamente la contenida por la delgada capa de agua. Poco contribuye la manta de 50 micrones de polietileno, la doble capa de cartón corrugado y los 2 cm de poliestireno expandido, que constituyen la estructura de la batea del DL, (como se puede ver en la tabla 2 la producción nocturna que sigue después de los días con abundante radiación solar: 2 y 8 solo da 0,01 kg, resultando para los otros días una producción no detectable por la balanza). En consecuencia podemos concluir que para este tipo de destilador, que hemos llamado DL, no influye en su producción la radiación solar del día anterior.

Tabla 2 Producción diurna y nocturna de ambos destiladores bajo estudio, tomadas durante siete días del mes de abril.

					Destil. con acumulador			Destilador Liviano		
Mes de Abril		<T>	<V>	H	Prod.	Prod.Tot.	Efic.	Prod.	Prod.Tot.	Efic.
Día	Hora	° C	km/hr	MJ/m ²	litros/m ²	litros/m ²	GOR	litros/m ²	litros/m ²	GOR
1	20			19	1,3	2,3	0,30	1,9	2	0,26
2	10	16,2	1,2	0	1,0			0,01		
2	20			18,6	1,6	2,4	0,32	2	2	0,27
3	10	19,3	0,7	0	0,8			0		
3	20,5			16,4	1,7	2,5	0,38	2,1	2,1	0,32
4	8	21,1	1,4	0	0,8			0		
4	20			4,1	1,4	2	1,22	0,4	0,4	0,24
5	10,5	18,3	0	0	0,6			0		
5	20			4,2	0,6	1	0,60	0,5	0,5	0,30
6	9,5	13,9	1	0	0,4			0		
6				6,4	S/D		S/D	S/D		S/D
7	10	14,5	0,8	0	0,8					
7	19,5			17,8	1,4	2,3	0,32	1,9	2	0,28
8	9,5	18,4	4,4	0	0,8			0,01		
8	20			17,1	1,7	2,3	0,34	2	2	0,29
9	9,5	18,1	4	0	0,6			0		
Media-Día		17,5	1,7	10,6	1,8		0,5	1,3		0,2

INCORPORACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las experiencias en producción de agua destilada combinando energía solar con energía eléctrica se efectuó en tres etapas. Etapas programadas con la finalidad de determinar mediante la incorporación progresiva de mayor cantidad de energía, el comportamiento de los materiales y la calidad del producto. Para ello se fue cambiando los resistores en el interior del tanque acumulador de forma tal que la potencia entregada fuese creciendo. En todos los casos se dispuso de un medidor acumulativo de la potencia entregada, termocuplas para el control de las temperaturas del agua en la superficie de la batea, la cubierta de vidrio y del aire. Se midieron sistemáticamente la cantidad de agua destilada colectada y la energía eléctrica suministrada dos veces por día. Una por la mañana, y otra por la tarde, luego de la puesta del sol. Concluida estas etapas exploratorias se continuó con experiencias manteniendo el resistor conectado a la línea, tratando de establecer un estado estacionario, en lo que corresponde a la energía eléctrica suministrada. Los resultados obtenidos en la primera experiencia, efectuada en el mes de septiembre empleando un calefactor de una potencia aproximada 1 kw, se muestran en la tabla 3.

Podemos ver en todos los casos que la eficiencia en el periodo nocturno es superior a la eficiencia en el periodo diurno, Esto es consecuencia de que el resistor es más eficiente para transformar la energía eléctrica en calor, que el destilador en transformar la radiación solar en calor (resultado por demás, ampliamente conocido). En segundo lugar debemos observar que las diferencias de temperaturas entre el agua en la batea y la ambiente se mantienen, en promedio, con diferencia que no superan los 2° C. Que la producción media resultó de unos 20 litros/día.

Tabla 3 Datos de ocho días de la experiencia efectuada en el mes de septiembre determinando la producción del destilador solar con acumulador operando con energía solar y eléctrica.

Sept.	noche ó día	Tag-Ta ° C.	H MJ/m ²	E.Eca MJ	Prod. Litros	Efic. GOR
14	n	51,4	0	48,31	8,5	0,44
14	d	55,3	16,49	53,24	8,9	0,35
16	n	51,5	0	47,48	7,8	0,41
16	d	52,4	16,2	38,88	7,8	0,35
17	n	52,4	0	55,12	9,7	0,44
17	d	51,5	19,8	45,68	10,8	0,41
18	n	51,5	0	48,06	8,5	0,44
18	d	54,1	19,44	47,16	10,6	0,4
19	n	52,2	0	47,45	9,5	0,5
19	d	55,6	20,88	47,09	12,1	0,44
20	n	53,9	0	47,56	9,3	0,49
20	d	53,1	20,16	47,88	13,5	0,49
21	n	53,0	0	47,63	10,2	0,53
21	d	55,2	15,12	48,89	11,3	0,44
22	n	52,4	0	47,63	10,2	0,53
22	d	52,3	20,88	46,55	11,4	0,42
Media noche		52,3	0	48,66	9,2	0,47
Media día		53,7	18,62	46,92	10,8	0,41

Con el mismo procedimiento se llevaron a cabo las dos etapas siguiente, donde la única diferencia con la primera fue que se cambió el resistor, de forma tal que en la segunda se trabajo con una potencia aproximada de 1,3 kw y en la tercera con una potencia de aproximadamente 2 kw. En la tabla 4 podemos ver los resultados en valores medios obtenidos de las tres etapas, las medias de la primera (de tabla 3) y las medias de las dos etapas de nueve y catorce días respectivamente. Vemos que la producción diaria crece a valores medios de 27 litros/día y 44 litros/día. Que la eficiencia crece a medida que se incrementa la incorporación de energía eléctrica en el proceso. Esto se da a pesar de que al incrementarse la diferencia de temperatura entre el agua contenida en la batea y el medio ambiente (de 52,3 a 56,6 y 62,6) y crecer consecuentemente las pérdidas térmicas la eficiencia nocturna crece de 0,47 a 0,54 y 0,67 respectivamente). También vemos de se incrementan las diferencias entre las eficiencias nocturnas con respecto a las diurnas, pasando de 0,06 en la primera etapa a 0,1 en la segunda y 0,17 en la tercera. Mostrando claramente la declinación de la contribución solar con relación a la eléctrica.

El producto mantiene su calidad a través de las secuencia de experiencias efectuadas, esto es de incorporar cada ves mayor cantidad de energía al acumulador, no habiendo llegado el agua contenida en la batea a entrar en ebullición la conductividad del agua destilada colectada, se mantuvo en todos los casos en torno de un microSiemens.

Tabla 4 Producción del destilador solar con acumulador y aporte de energía eléctrica en valores medios de las variable medidas en las experiencias desarrolladas a lo largo de 8, 9 y 14 días respectivamente.

Mes	Días Cant.	noche ó día	Tag-Ta ° C.	Prod. Litros	H MJ/m ²	E.Eca MJ	Efic. GOR
Sept.	8	n	52,3	9,2	0	48,66	0,47
Sept.	8	d	53,7	10,8	18,62	46,92	0,41
Oct.	9	n	56,6	13,2	0	61,4	0,54
Oct.	9	d	62,4	13,8	25,45	57,43	0,42
Nov.	14	n	62,6	22,5	0	84,82	0,67
Nov.	14	d	63,2	21,8	29,24	78,94	0,50

CAPACIDAD DE CONDENSACIÓN DE LA CUBIERTA VIDRIADA

De la figura 1 vemos que para un día soleado del mes de enero, 29 MJ/m^2 , ambos destiladores producen 4,6 litros de agua destilada por día. Ambos poseen el mismo diseño, calidad de materiales, mantenimiento, orientación y son operados simultáneamente. Toda mejora que se les pueda introducir, cambiando su geometría, limpieza de los vidrios, etc., solo podrá lograr aumentos en su producción en valores del orden del litro de agua destilada por día.

En la tabla 4 vemos que con uno de estos mismos condensadores, el instalado en el DA, obtenemos, sumando la producción diurna y nocturna del mes de noviembre, de 44,3 litros de agua destilada por día, con calidad de 1 microSiemens. Esto es una producción aproximadamente diez veces superior a la obtenida mediante energía solar. Hemos efectuado experiencias operando con dos resistores de 2 kw, de potencia que nos permitieron obtener hasta 65 litros de agua destilada por día. La calidad en este caso es inferior, unos 4 microsiemens, debido a que el agua en la batea entró en ebullición.

Podemos concluir en consecuencia que la capacidad de condensación de las cubiertas vidriadas de los colectores solares es unas diez veces superior a la normalmente explotada mediante la operación con radiación solar.

CONCLUSIONES

El destilador solar con acumulador presenta una eficiencia, para captar la radiación solar y producir agua destilada superior al destilador construido con materiales livianos. Las ventajas se generan como consecuencia de la capacidad de acumulación que hace que el dispositivo continúe la producción durante los periodos sin sol. En la capacidad de acumulación de energía del DA, se observó dependencia con la historia de la radiación recibida de hasta dos días. En el DL no se observó dependencia con la radiación del día anterior.

El dispositivo permite la incorporación de otras fuentes de energía, como la energía eléctrica. Se puso en evidencia que la capacidad de la superficie vidriada que actúa como condensador posee una capacidad muy superior, hasta por lo menos diez veces, que la capacidad puesta de manifiesto operando con los destiladores solares comunes.

REFERENCIAS

- De Paul I., Hoyos D. y Saravia L. (1997); Productividad de un destilador tipo batea en función de diferentes parámetros; AVERMA, Vol. 1 N° 1, pp. 97 a 100.
- De Paul I. y Hoyos D. (1999); Comportamiento fluidodinámico de un destilador solar tipo batea con cubierta a dos aguas. ERMA Vol 6, pp. 27 a 34
- De Paul I. (2000); destilador solar tipo batea con doble cubierta: Funcionamiento y predicción de resultados; ERMA, Vol. 8, pp. 37 a 46.
- Esteban C., Franco J. y Fasulo A.; 2004 Construction and performance of solar assisted distiller; Desalination, Vol. 173, pp 249 to 255.
- Esteban C., 2006; Destilador solar asistido con colector solar acumulador; Tesis de Maestría en Energías Renovables; Universidad Nacional de Salta.
- Fasulo A. y Odicino L.; (200); Agua destilada para los laboratorios de la UNSL; AVERMA, Vol.11, pp 02-7 a 12.
- Fernandez J. L. y Chargoy N. (1990); Multistage, indirectly heated solar still; Solar Energy, 44, pp. 215 a 223.
- Follari J. Y Odicino L. (2005); Mejoras constructivas de destiladores solares tipo batea; ERMA; vol.17, pp. 77 a 80
- Franco J. y Saravia L., 1992; Ensayo y simulación de un destilador de efecto múltiple. Actas de la 15ta Reunión de la ASADES, Argentina, pp. 403 – 408
- Howe E. D.; (1980); Distillation of sea water; Solar Energy Technology Handbook; Marcel Dekker Inc., Cap. 33.
- Mathioulakis and Belessiotis 2003; Integration of solar still in a multi-source, multi-use environment; Solar Energy, vol. 75, pp. 403 – 411
- Voropoulos K., Mathioulakis E. and Belissiotis V. 2001; Experimental investigation of a solar still coupled with solar collectors; Desalination vol. 138, pp. 103 – 110.

ABSTRACT

This work describes the design, construction and experimental evaluation of a solar still with energy storage. The prototype is obtained by increasing the basin, which contains and retains the energy of the hot water. The basin is covered with thermal insulation to maximize its efficiency as accumulator. Constructive characteristics and materials are described in detail. The results show a production a little higher than the normal light solar stills. One advantage of the system is the possibility of addition of external energy, from solar origin or conventional sources, which do not have the actual solar stills. The results show that these prototypes multiply by a factor of 10 the production of distillate, which indicates that the condensation capacity of the glass cover is many times greater than those values known for solar stills of simple basin.

Keywords: Solar and Conventional Still; Accumulation and productivity, condenser capacity.